

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5603761号
(P5603761)

(45) 発行日 平成26年10月8日(2014.10.8)

(24) 登録日 平成26年8月29日(2014.8.29)

(51) Int.Cl.

G02B 21/06 (2006.01)

F 1

G 02 B 21/06

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2010-265703 (P2010-265703)
 (22) 出願日 平成22年11月29日 (2010.11.29)
 (65) 公開番号 特開2012-118139 (P2012-118139A)
 (43) 公開日 平成24年6月21日 (2012.6.21)
 審査請求日 平成25年11月25日 (2013.11.25)

(73) 特許権者 000000376
 オリンパス株式会社
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
 (74) 代理人 100074099
 弁理士 大菅 義之
 (72) 発明者 細野 和彦
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オ
 リンパス株式会社内

審査官 殿岡 雅仁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】蛍光顕微鏡用照明光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

蛍光顕微鏡用照明光学系であって、光源側から順に、
 前記光源と、
 照明の均一性を向上させるためのオプティカルインテグレータと、
 リレーレンズと、
 変倍レンズと、
 対物レンズと、
前記リレーレンズと前記対物レンズの間に、ダイクロイックミラーと、を含み、
前記変倍レンズは、可変倍率を有するレンズ、または、異なる倍率を有するレンズと切
り替え可能なレンズであり、前記リレーレンズと前記ダイクロイックミラーの間に配置さ
れる

ことを特徴とする蛍光顕微鏡用照明光学系。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、
 前記リレーレンズは、前記変倍レンズがない状態で、前記オプティカルインテグレータ
 の射出面と前記対物レンズの瞳面とを共役とする
 ことを特徴とする蛍光顕微鏡用照明光学系。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、

10

20

前記変倍レンズは、アフォーカル光学系であることを特徴とする蛍光顕微鏡用照明光学系。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、さらに、前記対物レンズの前側焦点位置と共に役である視野絞りを含むことを特徴とする蛍光顕微鏡用照明光学系。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 請求項 4 のいずれか 1 項に記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、さらに、

前記光源と前記オプティカルインテグレータの間にコレクタレンズを含み、

10

前記コレクタレンズの位置により前記オプティカルインテグレータは、射出面に複数の前記光源の像を形成、または射出面から平行光を射出することを特徴とする蛍光顕微鏡用照明光学系。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 請求項 4 のいずれか 1 項に記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、さらに、

前記光源と前記オプティカルインテグレータの間に移動可能なコレクタレンズを含み、

前記コレクタレンズの移動によりケーラー照明とクリティカル照明との間に変更可能であることを特徴とする蛍光顕微鏡用照明光学系。

20

【請求項 7】

請求項 1 乃至 請求項 6 のいずれか 1 項に記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、

前記オプティカルインテグレータは、フライアイレンズである

ことを特徴とする蛍光顕微鏡用照明光学系。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 請求項 7 のいずれか 1 項に記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、

前記変倍レンズは、試料面への投影変倍の選択により照明範囲を任意に調整することを特徴とする蛍光顕微鏡用照明光学系。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、蛍光顕微鏡用照明光学系に関し、特にオプティカルインテグレータを備える蛍光顕微鏡用照明光学系する。

【背景技術】

【0002】

顕微鏡の代表的な照明方法として、クリティカル照明とケーラー照明が知られている。

クリティカル照明は、試料上に光源像を形成する照明方法である。クリティカル照明では、明るい照明を実現できるが、光源像の照度分布がそのまま試料上での照度分布となるため、試料を均一に照明することが難しい。一方、ケーラー照明は、対物レンズの瞳位置に光源像を形成する照明方法である。ケーラー照明では、光源像が試料面に投影されることはなく、試料上の照度分布が光源の輝度分布に依存しないため、試料をより均一に照明することができる。

40

【0003】

顕微鏡では、一般に照明の均一性がより重視されるため、ケーラー照明を実現する照明光学系、または、ケーラー照明とクリティカル照明とを任意に切り換えて実現する照明光学系が広く採用されている。

【0004】

ケーラー照明を実現する照明光学系は、試料面と共に役な位置に設けられた視野絞りで、照明領域の範囲（以降、照明範囲と記す。）を調整し、対物レンズの瞳と共に役な位置に設けられた開口絞りで、照明領域での単位面積当たりの照明強度（以降、単に、照明強度と

50

記す。)を、照明範囲を変更することなく調整することができる。しかしながら、視野絞りや開口絞りによる照明範囲や照明強度の調整は、照明光の光束の一部を遮断することになるため、光量の損失は避けられない。

【0005】

このような課題に対して有効な技術として、例えば、特許文献1に開示されているような、光源ユニットと投光管の間の光束径を可変する技術、即ち、光源を対物レンズの瞳へ投影する倍率を可変する技術が知られている。

【0006】

図7(a)及び図7(b)は、光源ユニットと投光管の間の光束径を可変する従来技術について説明するための図である。図7(a)及び図7(b)に例示される照明光学系100は、光源111とコレクタレンズ112を含む光源ユニット110と、投光管ユニット120と、対物レンズ130と、を含み、さらに、必要に応じて、光源ユニット110と投光管ユニット120の間の光路中に挿入されて光束径を可変する変倍レンズユニット140を含んでいる。なお、図7(a)及び図7(b)では、変倍レンズユニット140を挿入した状態での光線が破線で表されて、変倍レンズユニット140を外した状態での光線が実線で表されている。

10

【0007】

照明光学系100は、開口絞りASと対物レンズ130の瞳PLが共役となり、視野絞りFSと対物レンズ130の前側焦点位置が共役となるように構成されている。照明光学系100は、コレクタレンズ112が光源ユニット110内で移動することで、光源111の像が形成される位置を変更することができる。図7(a)は、光源111の像が開口絞りASに形成されて、ケーラー照明が実現されている状態を示した図である。また、図7(b)は、光源111の像が視野絞りFSに形成されて、クリティカル照明が実現されている状態を示した図である。

20

【0008】

照明光学系100では、変倍レンズユニット140がアフォーカル光学系として構成されている。このため、図7(a)に例示されるように、光源ユニット110から平行光束が射出されるケーラー照明では、変倍レンズユニット140の有無によらず、光源111と開口絞りASの共役関係は維持される。このため、変倍レンズユニット140の挿入により、光束径が変化して照明範囲とそれに付随する照明強度が変化するが、光量の損失はほとんど生じない。

30

【0009】

また、照明光学系100では、図7(b)に例示されるように、クリティカル状態でも、光源ユニット110から射出される照明光は略平行光束であるため、変倍レンズユニット140の有無によらず、光源111と視野絞りFSの共役関係はほぼ維持される。このため、変倍レンズユニット140の挿入により、光束径が変化して照明範囲とそれに付随する照明強度が変化するが、光量の損失はほとんど生じない。

【0010】

以上のように、特許文献1で開示されるような、光源ユニットと投光管ユニットの間の光束径を可変する技術によれば、照明範囲とそれに付随する照明強度を調整することで、光量の損失が抑制された効率の良い照明を実現することができる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特開2002-250867号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

ところで、顕微鏡の分野では、さらなる照明の均一性の向上が求められており、近年では、オプティカルインテグレータを用いてケーラー照明における照明の均一性を更に改善

50

した照明光学系が実用化されている。

【0013】

しかしながら、オプティカルインテグレータを用いた照明光学系に対しては、光源ユニットと投光管ユニットの間の光束径を可変する技術は有効ではなく、照明範囲とそれに付随する照明強度を調整することができない。

【0014】

オプティカルインテグレータとして例えばフライアイレンズを用いた照明光学系に上記技術を適用すると、変倍レンズによりフライアイレンズに入射する光束径が変化するため、フライアイレンズにより形成される光源像の個数が変化することになる。しかしながら、これらの光源像の各々から射出された照明光は、試料面では互いに重なり合うことになるため、照明範囲自体は光源像の個数によって変化しない。10

【0015】

従って、光源ユニットと投光管ユニットの間の光束径を可変する技術では、照明範囲及びそれに付随する単位面積当たりの照明強度の調整と、オプティカルインテグレータによる照明の高い均一性とを、同時に実現することはできない。

【0016】

以上のような実情を踏まえ、本発明では、照明の高い均一性を実現しながら、照明範囲とそれに付随する照明強度を調整することで、光量の損失が抑制された効率の良い照明を実現し得る、照明光学系の技術を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】20

【0017】

本発明の第1の態様は、蛍光顕微鏡用照明光学系であって、光源側から順に、光源と、照明の均一性を向上させるためのオプティカルインテグレータと、リレーレンズと、変倍レンズと、対物レンズと、リレーレンズと対物レンズの間に、ダイクロイックミラーと、を含み、変倍レンズは、可変倍率を有するレンズ、または、異なる倍率を有するレンズと切り替え可能なレンズであり、リレーレンズとダイクロイックミラーの間に配置される、蛍光顕微鏡用照明光学系を提供する。

【0018】

本発明の第2の態様は、第1の態様に記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、リレーレンズは、変倍レンズがない状態で、オプティカルインテグレータの射出面と前記対物レンズの瞳面とを共役とする蛍光顕微鏡用照明光学系を提供する。30

【0019】

本発明の第3の態様は、第1の態様または第2の態様に記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、変倍レンズは、アフォーカル光学系である蛍光顕微鏡用照明光学系を提供する。

【0020】

本発明の第4の態様は、第1の態様乃至第3の態様のいずれか1つに記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、さらに、対物レンズの前側焦点位置と共にある視野絞りを含む蛍光顕微鏡用照明光学系を提供する。

【0021】

本発明の第5の態様は、第1の態様乃至第4の態様のいずれか1つに記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、さらに、光源とオプティカルインテグレータの間にコレクタレンズを含み、コレクタレンズの位置によりオプティカルインテグレータは、射出面に複数の光源の像を形成、または射出面から平行光を射出する蛍光顕微鏡用照明光学系を提供する。40

本発明の第6の態様は、第1の態様乃至第4の態様のいずれか1つに記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、さらに、光源とオプティカルインテグレータの間に移動可能なコレクタレンズを含み、コレクタレンズの移動によりケーラー照明とクリティカル照明との間に変更可能である蛍光顕微鏡用照明光学系を提供する。

本発明の第7の態様は、第1の態様乃至第6の態様のいずれか1つに記載の蛍光顕微鏡50

用照明光学系において、前記オプティカルインテグレータは、フライアイレンズである蛍光顕微鏡用照明光学系を提供する。

本発明の第8の態様は、第1の態様乃至第7の態様のいずれか1つに記載の蛍光顕微鏡用照明光学系において、変倍レンズは、試料面への投影変倍の選択により照明範囲を任意に調整する蛍光顕微鏡用照明光学系を提供する。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、照明の高い均一性を実現しながら、照明範囲とそれに付随する照明強度を調整することで、光量の損失が抑制された効率の良い照明を実現し得る、照明光学系の技術を提供することができる。10

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の一実施形態に係る照明光学系の構成を例示した図である。

【図2】図1に例示される照明光学系を含む蛍光顕微鏡の構成を例示した図である。

【図3】変倍レンズユニットの挿入位置を説明するため図である。

【図4】変倍レンズユニットが光路上に挿入されていない照明光学系における、フライアイレンズの入射面及び射出面、対物レンズの瞳面、試料面の各々の状態を示した図である。10

【図5】光源ユニットと投光管ユニットの間に変倍レンズユニットが挿入された照明光学系における、フライアイレンズの入射面及び射出面、対物レンズの瞳面、試料面の各々の状態を示した図である。20

【図6】投光管ユニットと対物レンズの間に変倍レンズユニットが挿入された照明光学系における、フライアイレンズの入射面及び射出面、対物レンズの瞳面、試料面の各々の状態を示した図である。

【図7】光源ユニットと投光管の間の光束径を可変する従来技術について説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

図1(a)及び図1(b)は、本発明の一実施形態に係る照明光学系の構成を例示した図である。図1(a)及び図1(b)に例示される照明光学系1は、蛍光顕微鏡用照明光学系であって、光源側から順に、照明光を射出する光源11と光軸AXに沿って移動可能なコレクタレンズ12とを含む光源ユニット10と、投光管ユニット20と、変倍レンズ43を含む変倍レンズユニット40と、対物レンズ30と、を含んでいる。30

【0025】

照明光学系1は、変倍レンズ43が光路上にない状態で、開口絞りASと対物レンズ30の瞳PLとが共役となり、視野絞りFSと対物レンズ30の前側焦点位置とが共役となるように構成されている。照明光学系1では、コレクタレンズ12が光源ユニット10内で移動することで、光源11の像が形成される位置が変化する。図1(a)は、光源11の像が開口絞りASに形成されて、ケーラー照明が実現されている状態を示した図である。また、図1(b)は、光源11の像が視野絞りFSに形成されて、クリティカル照明が実現されている状態を示した図である。40

【0026】

投光管ユニット20は、光源側から順に、複数の光源11の像を形成するオプティカルインテグレータ21と、レンズ22及びレンズ23からなるリレーレンズ24と、含んでいる。さらに、投光管ユニット20は、開口絞りASと視野絞りFSを備えている。

【0027】

リレーレンズ24は、変倍レンズ43が光路上にない状態で、オプティカルインテグレータ21により形成された複数の光源11の像を対物レンズ30の瞳PLと共にするよう構成されている。より具体的には、図1(a)で例示されるように、リレーレンズ250

4を構成するレンズ22は、オプティカルインテグレータ21により形成された複数の光源11の像と開口絞りASとが共役となるように、また、リレーレンズ24を構成するレンズ23は、開口絞りASと対物レンズ30の瞳PLとが共役になるように、構成されている。さらに、図1(b)で例示されるように、リレーレンズ24を構成するレンズ23は、視野絞りFSに集光した光を平行光に変換して、レンズ23と対物レンズ30ことで視野絞りFSを対物レンズ30の前側焦点位置と共に構成されている。

【0028】

オプティカルインテグレータ21は、試料面上での照明の均一性を向上させるための光学素子であり、例えば、フライアイレンズやロッドレンズなどが挙げられる。なお、図1(a)及び図1(b)では、光源11の像を射出面に形成するフライアイレンズが例示されている。このため、リレーレンズ24は、変倍レンズ43がない状態で、フライアイレンズ(オプティカルインテグレータ21)の射出面を対物レンズ30の瞳PLと共に役とする。

10

【0029】

変倍レンズユニット40は、レンズ41とレンズ42からなる変倍レンズ43を含んでいる。変倍レンズ43は、可変倍率を有するレンズ、例えば、ズームレンズとして構成されても良い。また、変倍レンズ43は、変倍レンズユニット40の交換により、異なる倍率を有するレンズと切り換え可能なレンズであってもよい。レンズの切り換えは、不図示の切り換え機構、例えば、スライダ、ドラム、ターレットなどにより行われても良い。なお、図1(a)及び図1(b)では、変倍レンズ43(変倍レンズユニット40)を挿入した状態での光線が破線で表されて、変倍レンズ43(変倍レンズユニット40)を外した状態での光線が実線で表されている。

20

【0030】

以上のように構成された照明光学系1によれば、図1(a)に例示されるように、オプティカルインテグレータ21により形成された複数の光源11の像の各々を対物レンズ30の瞳PLへ投影する倍率を、変倍レンズ43により可変することができる。また、図1(b)に例示されるように、光源11を対物レンズ30の前側焦点位置に投影する倍率を、変倍レンズ43により可変することができる。このため、照明光学系1は、オプティカルインテグレータ21により照明の高い均一性を実現しながら、照明範囲とそれに付随する単位面積当たりの照明強度を調整することが可能である。その結果、照明光学系1は、光量の損失を抑制して、必要な領域を効率良く照明することができる。

30

【0031】

ただし、照明光学系1では、変倍レンズ43が追加された状態では、開口絞りASと対物レンズ30の瞳PLの共役関係は、厳密には維持されない。その結果、図1(a)に例示されるように、光源11の像が対物レンズ30の瞳PLからずれた位置に形成されることになる。このため、厳密なケーラー照明を実現することはできない。このことは、光源から射出された照明光が試料面で反射した光や透過した光を検出する明視野観察では、観察性能を劣化させる原因となる。

【0032】

しかしながら、蛍光観察では、必ずしも厳密なケーラー照明は必要とされない。これは、第1に、蛍光観察では、励起光である照明光自体は検出対象ではなく、試料に導入されている蛍光色素や蛍光蛋白質(以降、蛍光物質と記す。)から射出される蛍光が検出対象であること、第2に、蛍光は、照明光の照射により新たな光源として機能する蛍光物質から、等方的に発せられること、が主な理由である。このため、照明光学系1は、蛍光顕微鏡用の照明光光学系として、特に好適である。

40

【0033】

また、照明光学系1では、変倍レンズ43が追加された状態では、開口絞りASと対物レンズ30の瞳PLの共役関係だけではなく、視野絞りFSと対物レンズ30の前側焦点位置の共役関係も維持されない可能性がある。視野絞りFSと対物レンズ30の前側焦点位置の共役関係が崩れると、対物レンズ30の前側焦点位置、即ち、試料面に投影される

50

視野絞り F S の像がボケてしまう。このため、観察者は、視野絞り F S を明瞭に観察することができず、視野絞り F S により視野を絞っている範囲を正確に認識することができない。

【 0 0 3 4 】

従って、変倍レンズ 4 3 は、アフォーカル光学系として構成されることが望ましい。変倍レンズ 4 3 がアフォーカル光学系として構成されることで、視野絞り F S と対物レンズ 3 0 の前側焦点位置の共役関係を維持することができるため、観察者は、視野絞り F S を明瞭に観察することができる。また、照明光学系 1 が用いられる蛍光顕微鏡では、試料面と共役な関係にある視野絞り F S の位置にさまざまな光学素子、例えば、共焦点効果を得るための共焦点絞りなど、が配置されることがある。変倍レンズ 4 3 をアフォーカル光学系として構成することで、照明光学系 1 は、変倍レンズ 4 3 が光路上に挿入された状態にあっても、視野絞り F S の位置に配置される光学素子によって得られる効果を維持することができる。10

【 0 0 3 5 】

図 2 は、図 1 に例示される照明光学系を含む蛍光顕微鏡の構成を例示した図である。図 2 に例示されるように、蛍光顕微鏡 5 0 に含まれる照明光学系 2 は、励起光である照明光と検出光である蛍光とを分離するために、投光管ユニット 2 0 (リレーレンズ 2 4)と対物レンズ 3 0 の間に、ダイクロイックミラー 5 1 を含んでいる点が、図 1 に例示される照明光学系 1 と異なっている。

【 0 0 3 6 】

ダイクロイックミラー 5 1 を含む照明光学系 2 では、変倍レンズ 4 3 は、リレーレンズ 2 4 とダイクロイックミラー 5 1 の間に配置されることが望ましい。変倍レンズ 4 3 をリレーレンズ 2 4 とダイクロイックミラー 5 1 の間に配置することで、変倍レンズ 4 3 は励起光である照明光のみに作用し、蛍光には作用しないからである。これにより、観察倍率を変更することなく、照明範囲とそれに付随する照明強度のみを調整することが可能となる。20

【 0 0 3 7 】

以下、オプティカルインテグレータとしてフライアイレンズを用いた照明光学系を例として、変倍レンズユニット(変倍レンズ)の挿入位置による作用の違いについて具体的に説明する。30

【 0 0 3 8 】

図 3 は、変倍レンズユニットの挿入位置を説明するため図である。図 3 に例示される照明光学系 3 は、光源ユニット 6 0 と、フライアイレンズ 7 1 を含む投光管ユニット 7 0 と、対物レンズ 8 0 と、を含んでいる。なお、光源ユニット 6 0 、投光管ユニット 7 0 、対物レンズ 8 0 は、それぞれ、図 1 に例示される照明光学系 1 の光源ユニット 1 0 、投光管ユニット 2 0 、対物レンズ 3 0 と同様の構成要素により構成されていて、光学的な位置関係についても同様である。このため、同一の構成要素には、同一の符号を付して説明を省略する。ただし、投光管ユニット 7 0 は、オプティカルインテグレータ 2 1 の代わりにフライアイレンズ 7 1 を含んでいる。

【 0 0 3 9 】

また、照明光学系 3 は、変倍レンズユニット 9 0 を光路上に挿入することができる。変倍レンズユニット 9 0 は、図 1 に例示される照明光学系 1 の変倍レンズユニット 4 0 と同様の構成要素からなり、光源ユニット 6 0 と投光管ユニット 7 0 の間、または、投光管ユニット 7 0 と対物レンズ 8 0 の間に挿入され得る。40

【 0 0 4 0 】

なお、光源ユニット 6 0 と投光管ユニット 7 0 の間に変倍レンズユニット 9 0 を挿入した構成は、投光管ユニット 7 0 にフライアイレンズ 7 1 が含まれる点を除くと、上述した特許文献 1 に開示される構成に近い構成である。また、投光管ユニット 7 0 と対物レンズ 8 0 の間に変倍レンズユニット 9 0 を挿入した構成は、図 1 に例示される照明光学系 1 と同様の構成である。50

【0041】

図4は、変倍レンズユニットが光路上に挿入されていない照明光学系における、フライアイレンズの入射面及び射出面、対物レンズの瞳面、試料面の各々の状態を示した図である。図5は、光源ユニットと投光管ユニットの間に変倍レンズユニットが挿入された照明光学系における、フライアイレンズの入射面及び射出面、対物レンズの瞳面、試料面の各々の状態を示した図である。図6は、投光管ユニットと対物レンズの間に変倍レンズユニットが挿入された照明光学系における、フライアイレンズの入射面及び射出面、対物レンズの瞳面、試料面の各々の状態を示した図である。

【0042】

なお、図4、図5、及び図6では、光源11の像IMは黒丸で、照明光束が通過する領域の範囲Rはハッチング線で示されている。また、図4(c)、図5(c)、図6(c)に示される径D1は、対物レンズ80の瞳径を示している。10

【0043】

図4(a)から図4(d)を参照しながら、変倍レンズユニット90が光路上に挿入されていない状態でのケーラー照明における各面の状態について説明する。

図4(a)に例示されるように、フライアイレンズ71の入射面71aには、フライアイレンズ71の外径に略等しい光束径を有する照明光が平行光として入射する。

【0044】

図4(b)に例示されるように、フライアイレンズ71に入射した光は、フライアイレンズ71の各要素Eにより集光されて、フライアイレンズ71の射出面71bに要素E毎に光源11の像IMを形成する。20

【0045】

フライアイレンズ71の射出面71bは、共役関係にある対物レンズ80の瞳面にリレーレンズ24によって定まる所定の倍率で投影される。ここでは、投影倍率が1.18倍の例が示されているため、図4(c)に例示されるように、対物レンズ80の瞳面での光源11の像IM及び要素Eの大きさは、フライアイレンズ71の射出面71bでの光源11の像IM及び要素Eの大きさの1.18倍になっている。

【0046】

図4(c)に例示されるように、複数の光源11の像IMは、対物レンズ80の瞳径D1で示される領域をはみ出すことなく適度に満している。このため、図4(a)から図4(d)で示されるケーラー照明では、光量を損失することなく効率的に試料面を照明することが可能であり、明るい照明が実現されている。30

【0047】

なお、対物レンズ80の瞳面に形成された各光源像から射出された照明光は、試料面上に互いに重なり合って照射されるため、図4(d)に例示されるように、それぞれ試料面上の同一の領域を照明する。このため、均一な照明が実現される。

【0048】

図4(e)から図4(f)を参照しながら、変倍レンズユニット90が光路上に挿入されていない状態でのクリティカル照明における各面の状態について説明する。

図4(e)に例示されるように、フライアイレンズ71の入射面71aには、単一の光源11の像IMが形成される。複数の要素Eに跨って光源11の像IMが形成されているため、単一の光源11の像IMは、それらの複数の要素Eにより分割される。40

【0049】

図4(f)に例示されるように、分割された光源11の像IMからの光は、各要素Eにより平行光に変換されて、フライアイレンズ71の射出面71bから射出される。

フライアイレンズ71の射出面71bは、上述したように、共役関係にある対物レンズ80の瞳面に1.18倍で投影される。このため、図4(g)に例示されるように、照明光は、フライアイレンズ71の射出面71bの領域Rの1.18倍の大きさを有する、対物レンズ80の瞳面上の領域Rに入射する。対物レンズ80の瞳面上の領域Rは、対物レンズ80の瞳径D1で示される領域内に収まっている。このため、図4(e)から図4(50

h)で示されるクリティカル照明でも、光量を損失することなく効率的に試料面を照明することが可能であり、明るい照明が実現されている。

【0050】

なお、対物レンズ80の瞳面に入射した照明光は、試料面上に集光し、試料面上に光源11の像を形成する。照明範囲は、フライアイレンズの要素Eの大きさと、要素Eの試料面への投影倍率によって定まる。この点については、ケーラー照明とクリティカル照明との間で違いはない。このため、図4(h)に示される照明範囲は、図4(d)に示される照明範囲と同様である。

【0051】

変倍レンズユニット90を含まない照明光学系は、ケーラー照明とクリティカル照明のいずれの状態においても、要素Eの試料面への投影倍率が固定されているため、照明範囲を任意に調整することができず、それに付随する単位面積当たりの照明強度を調整することもできない。従って、照明光学系3による照明範囲と実際に照明が必要な領域の範囲が一致しない場合には、必要な領域のみを効率を良く照明することができない。

10

【0052】

図5(a)から図5(d)を参照しながら、光源ユニット60と投光管ユニット70の間の光路上に変倍レンズユニット90が挿入された状態でのケーラー照明における各面の状態について説明する。

【0053】

図5(a)に例示されるように、フライアイレンズ71の入射面71aには、変倍レンズ43により光束径が可変された照明光が平行光として入射する。なお、図5(a)では、図4(a)に比べて光束径が細くなった場合が例示されている。

20

【0054】

図5(b)に例示されるように、フライアイレンズ71に入射した照明光は、照明光が入射した各要素Eにより集光されて、フライアイレンズ71の射出面71bに要素E毎に光源11の像IMを形成する。即ち、変倍レンズユニット90の挿入により、フライアイレンズ71の射出面71bに形成される光源11の像の個数が変化する。

【0055】

フライアイレンズ71の射出面71bは、共役関係にある対物レンズ80の瞳面に1.18倍で投影される。このため、図5(c)に例示されるように、対物レンズ80の瞳面での光源11の像IM及び要素Eの大きさは、フライアイレンズ71の射出面71bでの光源11の像IM及び要素Eの大きさの1.18倍になっている。

30

【0056】

図5(c)に例示されるように、複数の光源11の像IMは、対物レンズ80の瞳径D1で示される領域内に収まっている。このため、図5(a)から図5(d)で示されるケーラー照明では、光量を損失することなく効率的に試料面を照明することが可能であり、明るい照明が実現されている。

【0057】

なお、対物レンズ80の瞳面に形成された各光源像IMから射出された照明光は、試料面上に互いに重なり合って照射されるため、図5(d)に例示されるように、それぞれ試料面上の同一の領域を照明する。このため、均一な照明が実現される。

40

また、照明範囲は、フライアイレンズの要素Eの大きさと、要素Eの試料面への投影倍率によって定まるため、図5(d)で示される照明範囲は、図4(d)及び図4(h)で示される照明範囲と同様である。

【0058】

図5(e)から図5(f)を参照しながら、変倍レンズユニット90が光路上に挿入されていない状態でのクリティカル照明における各面の状態について説明する。

図5(e)に例示されるように、フライアイレンズ71の入射面71aには、単一の光源11の像IMが形成される。なお、変倍レンズ43の存在により、光源11がフライアイレンズ71の入射面に投影される倍率は、図4(e)と異なるため、光源11の像IM

50

の大きさも図 4 (e) とは異なっている。複数の要素 E に跨って光源 1 1 の像 I M が形成されているため、単一の光源 1 1 の像 I M は、それらの複数の要素 E により分割される。

【 0 0 5 9 】

図 5 (f) に例示されるように、分割された光源 1 1 の像 I M からの光は、各要素 E により平行光に変換されて、フライアイレンズ 7 1 の射出面 7 1 b から射出される。即ち、変倍レンズユニット 9 0 の挿入により、平行光として照明光が射出される射出面 7 1 b 上の要素数が変化する。

【 0 0 6 0 】

フライアイレンズ 7 1 の射出面 7 1 b は、上述したように、共役関係にある対物レンズ 8 0 の瞳面に 1 . 1 8 倍で投影される。このため、図 5 (g) に例示されるように、照明光は、フライアイレンズ 7 1 の射出面 7 1 b の領域 R の 1 . 1 8 倍の大きさを有する、対物レンズ 8 0 の瞳面上の領域 R に入射する。10

【 0 0 6 1 】

図 5 (g) に例示されるように、対物レンズ 8 0 の瞳面上の領域 R は、対物レンズ 8 0 の瞳径 D 1 で示される領域内に収まっている。このため、図 5 (e) から図 5 (h) で示されるクリティカル照明でも、光量を損失することなく効率的に試料面を照明することが可能であり、明るい照明が実現されている。

【 0 0 6 2 】

なお、対物レンズ 8 0 の瞳面に入射した照明光は、試料面上に集光し、試料面上に光源 1 1 の像を形成する。また、照明範囲は、フライアイレンズの要素 E の大きさと、要素 E の試料面への投影倍率によって定まるため、図 5 (h) で示される照明範囲は、図 4 (d)、図 4 (h) 及び図 5 (d) で示される照明範囲と同様である。20

【 0 0 6 3 】

光源ユニット 6 0 と投光管ユニット 7 0 の間の光路上に変倍レンズユニット 9 0 を含む照明光学系では、変倍レンズ 4 3 の倍率を変更しても、要素 E の試料面への投影倍率は変化しない。つまり、ケーラー照明とクリティカル照明のいずれの状態においても、要素 E の試料面への投影倍率は固定されている。このため、照明範囲を任意に調整することができず、それに付随する単位面積当たりの照明強度を調整することもできない。従って、図 4 に例示される照明光学系と同様に、照明光学系 3 による照明範囲と実際に照明が必要な領域の範囲が一致しない場合には、必要な領域のみを効率良く照明することができない。また、対物レンズの瞳径に合わせて投影倍率を変更することができないため、瞳径が小さな対物レンズを使用する場合には、光束の一部が試料面に到達できず、照明効率が悪化してしまう。30

【 0 0 6 4 】

図 6 (a) から図 6 (d) を参照しながら、投光管ユニット 7 0 と対物レンズ 8 0 の間の光路上に変倍レンズユニット 9 0 が挿入された状態でのケーラー照明における各面の状態について説明する。

【 0 0 6 5 】

図 6 (a) に例示されるように、フライアイレンズ 7 1 の入射面 7 1 a には、フライアイレンズ 7 1 の外径に略等しい光束径を有する照明光が平行光として入射する。40

図 6 (b) に例示されるように、フライアイレンズ 7 1 に入射した光は、フライアイレンズ 7 1 の各要素 E により集光されて、フライアイレンズ 7 1 の射出面 7 1 b に要素 E 每に光源 1 1 の像 I M を形成する。

【 0 0 6 6 】

フライアイレンズ 7 1 の射出面は、変倍レンズ 4 3 の倍率に応じて、およそ共役関係にある対物レンズ 8 0 の瞳面に任意の倍率で投影される。ここでは、図 4 と同様に、1 . 1 8 倍で投影する例が示されている。このため、図 6 (c) に例示されるように、対物レンズ 8 0 の瞳面での光源 1 1 の像 I M 及び要素 E の大きさは、フライアイレンズ 7 1 の射出面 7 1 b での光源 1 1 の像 I M 及び要素 E の大きさの 1 . 1 8 倍になっている。

【 0 0 6 7 】

図6(c)に例示されるように、複数の光源11の像IMは、対物レンズ80の瞳面上の径D1で示される領域をはみ出すことなく適度に満している。このため、図6(a)から図6(d)で示されるケーラー照明では、光量の損失がなく、且つ、明るい照明が実現されている。

【0068】

なお、対物レンズ80の瞳面に形成された各光源像から射出された照明光は、試料面上に互いに重なり合って照射されるため、図6(d)に例示されるように、それぞれ試料面上の同一の領域を照明する。このため、均一な照明が実現される。

【0069】

図6(e)から図6(f)を参照しながら、投光管ユニット70と対物レンズ80の間の光路上に変倍レンズユニット90が挿入された状態でのクリティカル照明における各面の状態について説明する。

【0070】

図6(e)に例示されるように、フライアイレンズ71の入射面71aには、単一の光源11の像IMが形成される。複数の要素Eに跨って光源11の像IMが形成されているため、単一の光源11の像IMは、それらの複数の要素Eにより分割される。

【0071】

図6(f)に例示されるように、分割された光源11の像IMからの光は、各要素Eにより平行光に変換されて、フライアイレンズ71の射出面71bから射出される。

フライアイレンズ71の射出面71bは、変倍レンズ43の倍率に応じて、およそ共役関係にある対物レンズ80の瞳面に任意の倍率で投影される。

【0072】

対物レンズ80の瞳面に入射した照明光は、試料面上に集光し、試料面上に光源11の像を形成する。なお、照明範囲は、フライアイレンズの要素Eの大きさと、要素Eの試料面への投影倍率によって定まる。このため、変倍レンズ43の倍率を調整することで、照明範囲とそれに付随する照明強度を任意に調整することができる。図6では、ケーラー照明とクリティカル照明で変倍レンズ43の倍率を異ならせているため、図6(h)に示される照明範囲と図6(d)に示される照明範囲が異なっている。

【0073】

このように、投光管ユニット70と対物レンズ80の間の光路上に変倍レンズユニット90を含む照明光学系は、変倍レンズ43の倍率を変更することにより、要素Eの試料面への投影倍率を変更することができるため、照明範囲を任意に調整し、それに付随する照明強度を調整することができる。

【0074】

また、照明光が対物レンズ80の瞳面を通過する領域Rが対物レンズ80の瞳径D1で示される領域より大きくなると光量の損失が生じる。このため、変倍レンズ43の倍率は、照明光が対物レンズ80の瞳面を通過する領域Rが対物レンズ80の瞳径D1で示される領域より大きくならない範囲で調整することが望ましい。これにより、光量の損失が抑制された効率の良い照明を実現することができる。

【0075】

なお、図6では、クリティカル照明で変倍レンズ43の倍率を変更して、照明範囲を調整する例を示したが、特にこれに限られない。ケーラー照明においても同様に変倍レンズ43の倍率を変更することで、照明範囲を調整することができる。

【0076】

このような照明範囲の調整は、変倍レンズユニット90を外した状態の照明光学系が有する視野数と、観察で必要とされる視野数が異なる場合に特に好適である。例えば、変倍レンズユニット90を外した状態で視野数22を有する照明光学系を視野数11に対応するカメラとともに使用する場合であれば、照明光学系による照明範囲を半分に調整すればよい。これにより、単位面積当たりの光量を4倍に増加させることができ、より明るい照明を実現することができる。

10

20

30

40

50

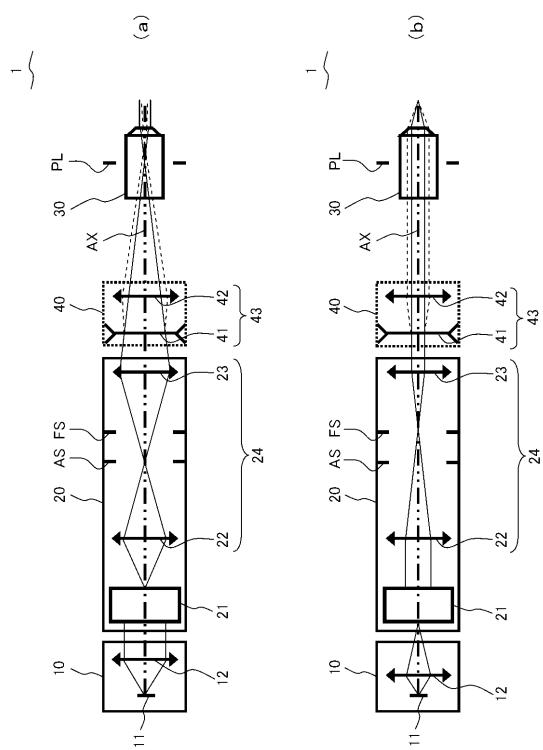
【符号の説明】

【0077】

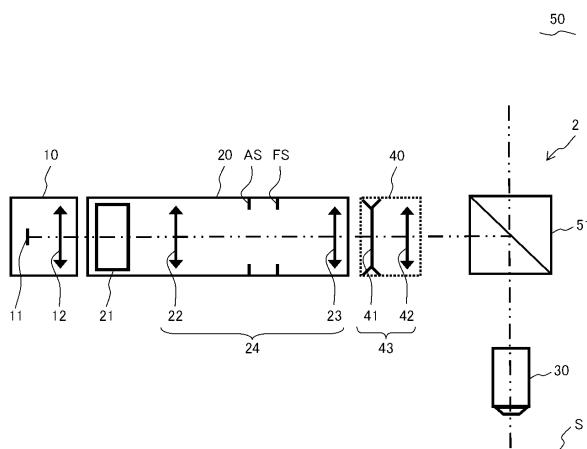
1、2、100・・・照明光学系、10、60、110・・・光源ユニット、11、111・・・光源、12、112・・・コレクタレンズ、20、70、120・・・投光管ユニット、21・・・オプティカルインテグレータ、22、23、41、42・・・レンズ、24・・・リレーレンズ、71・・・フライアイレンズ、71a・・・入射面、71b・・・射出面、30、80、130・・・対物レンズ、40、90、140・・・変倍レンズユニット、43・・・変倍レンズ、50・・・蛍光顕微鏡、51・・・ダイクロイックミラー、AS・・・開口絞り、FS・・・視野絞り、PL・・・瞳、AX・・・光軸、E・・・要素、R・・・範囲、D1・・・径、IM・・・像、S・・・試料面

10

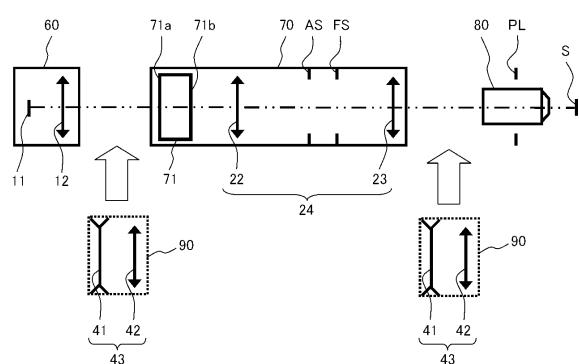
【図1】



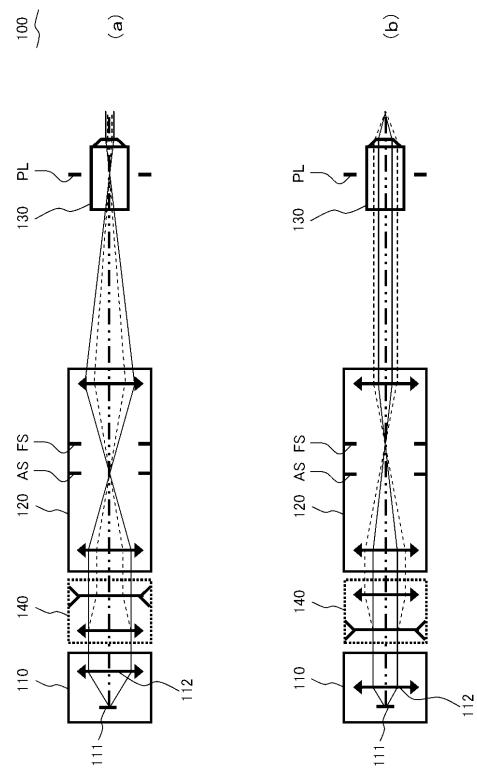
【図2】



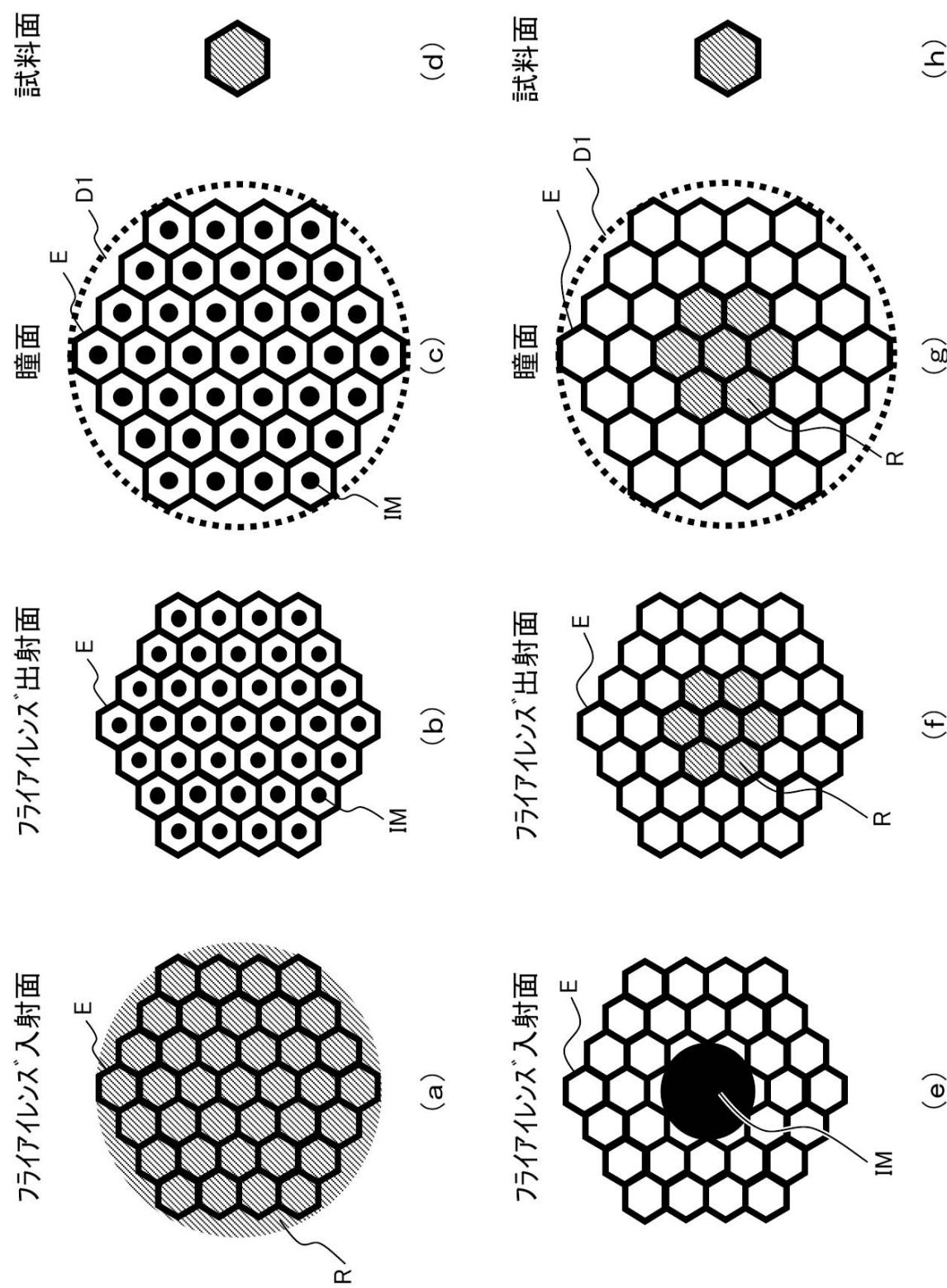
【図3】



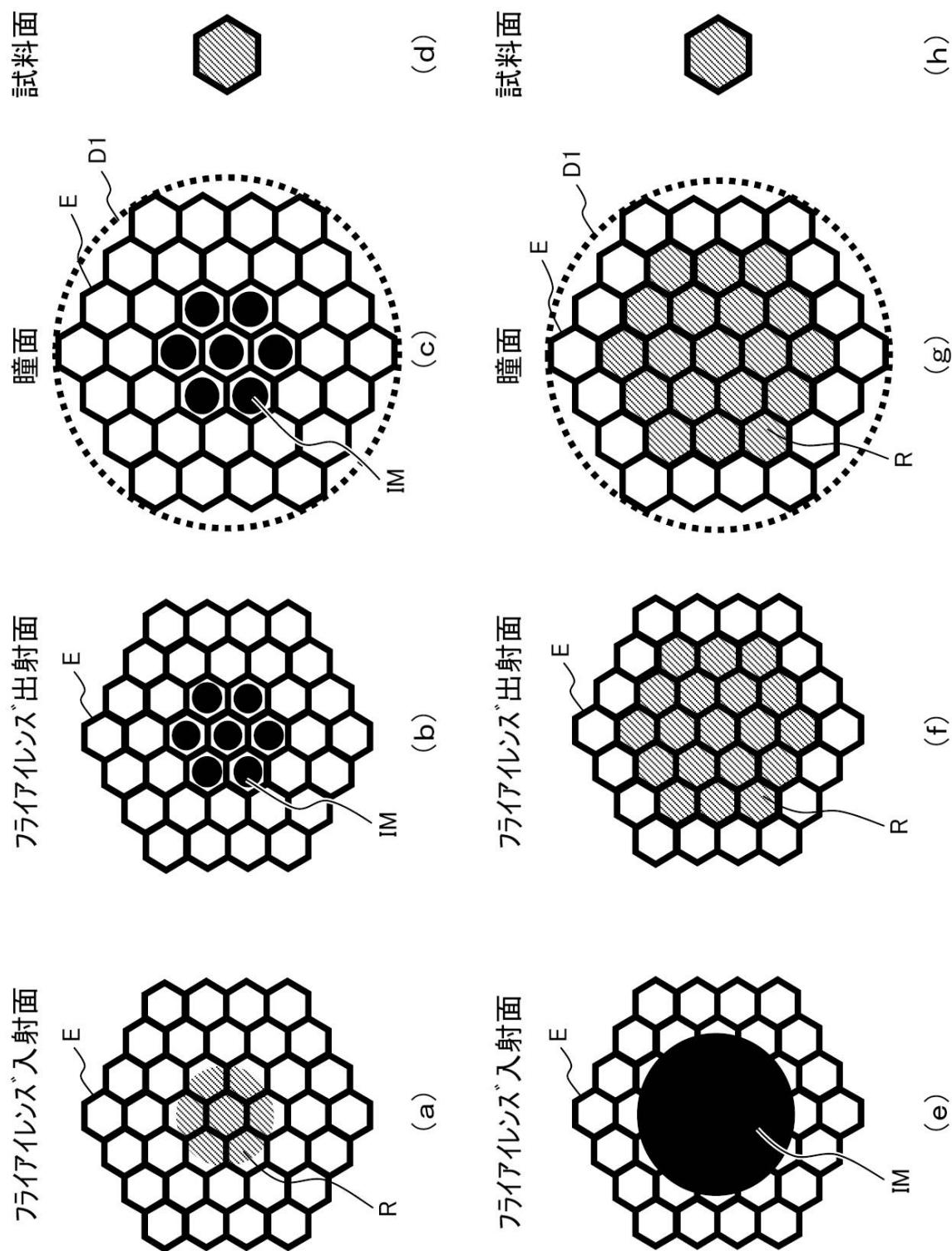
【図7】



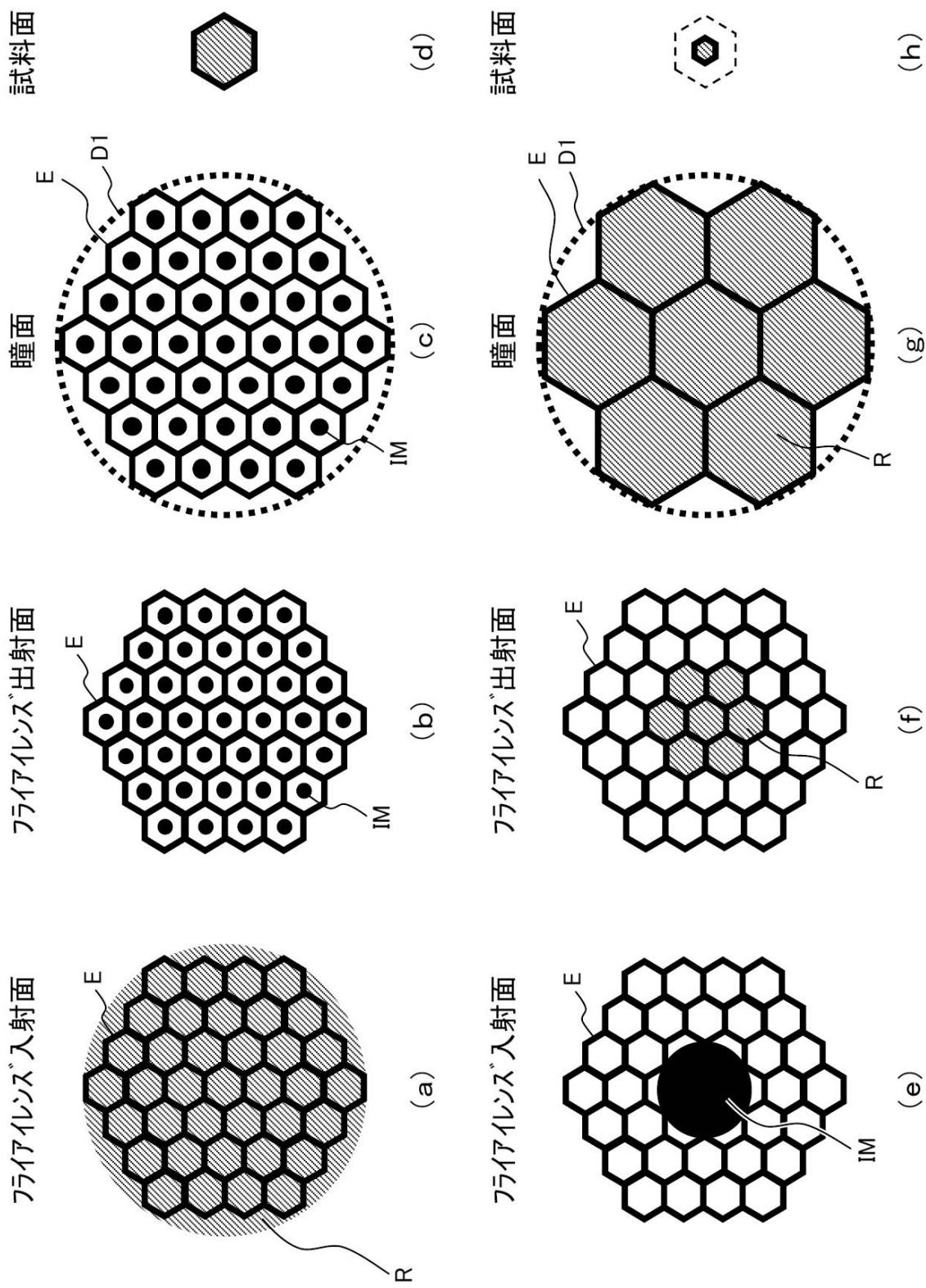
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-178440(JP,A)
特開2009-276544(JP,A)
特開2002-365555(JP,A)
特開2009-008701(JP,A)
特開2002-090635(JP,A)
国際公開第2008/047893(WO,A1)
特開2007-024758(JP,A)
国際公開第2007/135976(WO,A1)
特開2007-333833(JP,A)
特開平06-289301(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B 21/00
G 02 B 21/06 - 21/36